

PENGUNAAN TEKNOLOGI PLASMA DALAM MENGURANGI KANDUNGAN BOD DAN WARNA PADA LIMBAH CAIR INDUSTRI MINUMAN RINGAN

Ade Ryane*, Wiharyanto Oktawan*, Abdul Syakur**

ABSTRACT

Softdrink Industrial is one of the industry that growing rapidly in Indonesia. Increasing of softdrink production leads to the increase of its wastewater. Wastewater from the production contains high concentration of BOD and colour intensity and has the potential to pollute the environment if it is untreated.

Plasma technology is one of technology that can be used to treat the wastewater. Plasma can be produced by giving high voltage into two electrodes. The giving of high voltage can cause atoms release its electrons. Electron will react with oxygen which is used as gas source and produce ozon and active species such as $O\bullet$, $OH\bullet$, and $H\bullet$ which will oxidize the organic material contained in wastewater. In this experiment, reactor used are DBD (Dielectric Barried Discharge) with an active electrode used are stainlees steel wire while the stainlees steel pipe used as a ground. Those electrodes are barried with pyrex glasses. Applied voltage used are 9 kV, 10 kV, 11 kV and 12 kV with total circulations are 7 circulations.

The results of experiment shows that the higher voltage applied, the higher reduction colour concentration as well as the more water circulate inside reactor. Removal percentage of colour at 12 kV and 7th circulation is 34%. Unlike concentration of colour, concentration of BOD shows fluctuative number. This can be affected by the active species produced by plasma. This active species can kill the bacteria contained in wastewater makes the BOD concentration become unvalid.

Key words : Plasma Technology , Soft Drink Industrial Wastewater, Active Species, Ozone.

I. PENDAHULUAN

Industri minuman ringan merupakan industri yang cukup banyak terdapat di Indonesia. Dengan banyaknya jumlah industri tersebut, maka limbah yang dihasilkan akibat proses produksi juga akan bertambah banyak sehingga apabila limbah tidak tertangani dengan baik, maka pencemaran lingkungan dapat terjadi. Limbah cair yang dihasilkan dari industri minuman ringan memiliki senyawa organik yang cukup tinggi di dalam air. Menurut Oktavia (2013), kadar BOD pada salah satu industri minuman ringan berkisar antara 100 mg/L-600 mg/L dan konsentrasi warna yang terkandung dalam limbah industri minuman ringan adalah 10025,00 PtCo (Warsito, 2005)

Pengolahan limbah seharusnya mempertimbangkan segi efisiensi dan biaya pengolahan yang harus dikeluarkan oleh industri yang bersangkutan sehingga pengolahan limbah dapat lebih efektif serta ekonomis. Selama ini, pengolahan air limbah dilakukan dengan menggunakan metode secara kimia, fisika dan biologi. Pengolahan dengan metode kimia dan biologi memiliki kekurangan untuk mengolah air limbah. Pengolahan air limbah secara kimia mengakibatkan pencemaran baru yang berasal dari bahan kimia. Selain itu, bahan baku untuk proses pengolahan kimia lebih mahal dan lumpur yang dihasilkan cukup banyak, sedangkan pengolahan secara biologi membutuhkan

*Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

**Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

lahan yang cukup luas serta waktu yang cukup lama untuk mendegradasi air limbah.

Teknologi plasma merupakan salah satu teknologi yang dapat digunakan untuk mengatasi kekurangan pada proses pengolahan limbah yang sudah ada. Plasma merupakan gas yang terionisasi dalam lucutan listrik atau dapat didefinisikan sebagai percampuran dari elektron, radikal, ion positif dan negatif. Pencampuran antara ion-ion yang bermuatan negatif dan positif memiliki sifat-sifat yang sangat berbeda dengan gas pada umumnya.

Teknologi plasma dapat digunakan untuk mengolah limbah cair, padat maupun gas. Teknologi ini tidak menggunakan bahan kimia serta tidak membutuhkan lahan yang luas. Proses penguraian senyawa organik oleh plasma berlangsung cepat serta spesies aktif yang dihasilkan ($\bullet\text{OH}$, $\bullet\text{O}$, $\bullet\text{H}$, O_3 , dan H_2O_2) dapat bereaksi dengan senyawa organik yang terkandung di dalam air limbah. Teknologi ini juga dapat mengoksidasi zat warna yang terkandung di dalam air limbah (Tuhu, 2006)

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian meliputi variabel bebas, variabel terikat dan variabel kontrol. **Variabel bebas**

1. Tegangan listrik : 9,10,11,12 kV
2. Jumlah sirkulasi air limbah : 1-7 kali sirkulasi

Variabel Terikat

Perubahan konsentrasi BOD dan warna dalam air limbah

Variabel Kontrol

1. Jarak antara elektroda
2. Debit air limbah : 14 ml/menit
3. *Flowrate* oksigen : 0,5 L/menit

B. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada Bulan Mei 2014-Agustus 2014 di Laboratorium Konversi Energi Listrik dan Sistem Tenaga Jurusan Teknik Elektro Universitas Diponegoro, sedangkan analisa dilaksanakan di Laboratorium Penelitian Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.

C. Alat dan Bahan

a. Alat :

Peralatan Analisa limbah:

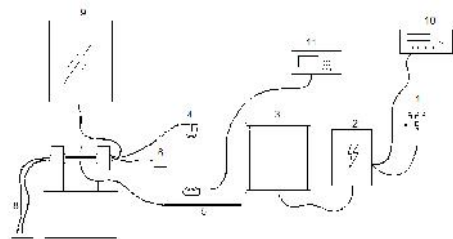
1. Gelas Beker
2. Gelas Ukur
3. Pipet Ukur
4. Aerator
5. Erlenmeyer
6. Buret
7. Spektrofotometer (*Thermo Scientific* dengan ketelitian 0,001)
8. Botol BOD

Rangkaian Reaktor Plasma:

1. Reaktor Plasma Tipe DBD (*Dielectric Barrier Discharge*)
2. Tabung oksigen
3. Regulator
4. *Kapasitor*
5. *Ground*
6. Gelas Beker
7. *Operating terminal*
8. *Digital Measurement Instrument*

b. Bahan

1. Limbah cair PT.Coca Cola Amatil Indonesia
2. Aquadest
3. Larutan *Buffer Phosphat* BOD
4. Larutan FeCl_3
5. Larutan CaCl_2
6. Larutan MgSO_4
7. Bibit air pengotor



Gambar 1. Rangkaian Alat Penelitian

Keterangan Alat :

- 1 : Sumber Energi
- 2 : Regulator
- 3: *Step Up*
- 4 : Kapasitor
- 5 : *Ground*
- 6 : Tabung Oksigen
- 7 : Reaktor Plasma
- 8 : Botol Penampung *Effluent*
- 9 : Wadah Penampung Awal
- 10: *Operating Terminal*
- 11: *Digital Measurment Instrument*

*Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

**Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

D. Prosedur Kegiatan Penelitian

Percobaan dilakukan dengan mengalirkan air limbah industri minuman ringan pada reaktor plasma yang telah diberikan tegangan. Tegangan yang ditetapkan adalah 9,10,11 dan 12 kV. Pada tiap tegangan, dilakukan pengulangan pengaliran air limbah (sirkulasi) sebanyak 7 kali. sebelum dialirkan kedalam reaktor plasma, terlebih dahulu air limbah diberi pre-treatment dengan penambahan oksigen (aerasi) yang bertujuan untuk menambah kadar oksigen terlarut di dalam air. Dengan bertambahnya oksigen diharapkan akan membantu proses pengolahan air limbah dimana oksigen akan bereaksi dengan radikal oksigen membentuk ozon. Ozon pada kondisi basa akan membentuk radikal hidroksil yang memiliki kemampuan untuk mengoksidasi zat organik secara cepat.

Pada gambar 1, air limbah yang berada pada poin 9 akan dialirkan menuju reaktor plasma pada poin 7 dimana proses pengaliran dan supply tegangan listrik pada reaktor dilakukan secara bersama-sama. Poin 1,2,3,4,11 dan 10 merupakan rangkaian listrik yang digunakan untuk memberikan tegangan pada reaktor plasma. Poin 6 merupakan tabung oksigen yang berguna untuk memasok oksigen ke dalam reaktor. Penggunaan gas oksigen diharapkan akan memberikan efisiensi penyisihan yang lebih besar dikarenakan produksi ozon pun akan lebih meningkat. Air limbah yang keluar dari reaktor akan ditampung pada gelas beker pada poin 8 dimana pada titik tersebut terdapat pula selang ozon. Ozon tersebut berasal dari reaktor plasma sehingga air limbah akan mengalami 2 perlakuan, yakni pengaliran di dalam reaktor plasma dan pemberian gas ozon. Setelah air limbah telah tertampung semua pada gelas beker, air limbah kemudian dialirkan kembali ke dalam reaktor hingga 7x pengaliran (7x sirkulasi). Konsentrasi BOD dan warna akan dianalisa di tiap sirkulasinya.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Karakteristik Air Limbah

Sebelum dilakukan penelitian, perlu diketahui terlebih dahulu bagaimanakah karakteristik air limbah yang digunakan sebagai bahan penelitian. Sampel limbah

cair merupakan jenis limbah cair industri minuman ringan yang didapatkan dari PT.Coca Cola Amatil Indonesia. Hasil uji karakteristik meliputi BOD dan warna yang merupakan parameter yang diteliti. Hasil uji karakteristik dapat dilihat pada tabel 1

Tabel 1. Hasil Uji Karakteristik Air Limbah

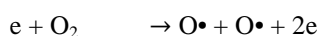
Parameter	Konsentrasi (mg/L)	Baku Mutu
BOD	238,8	50*
Warna	500	-

**Baku mutu Perda Jateng No.5 Tahun 2012 tentang Baku Mutu Air Limbah*

Berdasarkan data pada tabel 1, konsentrasi BOD melebihi baku mutu air limbah. Hal ini dapat dikarenakan jenis bahan yang digunakan dalam proses produksi minuman ringan merupakan gula sehingga limbah mengandung zat organik *biodegradable* yang cukup tinggi. Kandungan warna pun disebabkan karena jenis pewarna yang digunakan merupakan pewarna alami berupa karamel yang terbuat dari gula sehingga apabila konsentrasi BOD di dalam air limbah menurun, maka konsentrasi warna pun ikut menurun.

b. Pengaruh Teknologi Plasma Terhadap Penurunan Konsentrasi Parameter Pencemar

Lucutan plasma dalam penelitian ini dihasilkan dari reaktor dimana terdapat dua elektroda yang salah satunya dibatasi oleh bahan dielektrik berupa kaca *pyrex*. Jenis reaktor plasma ini disebut sebagai *dielectric barrier discharge* (DBD) plasma. Tegangan listrik yang digunakan adalah 9-12 kV dengan sumber gas masukan berupa oksigen. Penggunaan oksigen sebagai gas masukan dapat meningkatkan produksi ozon sesuai dengan persamaan berikut (Warsito, 2009) :

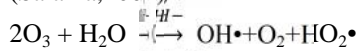


Selain menggunakan gas masukan berupa ozon, pasokan oksigen didapatkan pula dari proses aerasi air limbah. Proses aerasi dilakukan dengan menambahkan gas oksigen ke dalam air limbah sebelum diolah

*Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

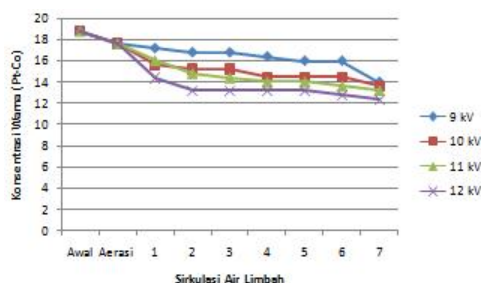
**Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

dengan menggunakan teknologi plasma. Selain dapat mengoksidasi zat organik, ozon yang terbentuk pada kondisi basa (lebih dari 8) dapat pula larut melalui permukaan air dan bereaksi menghasilkan radikal hidroksil ($\text{OH}\cdot$) sesuai dengan reaksi sebagai berikut (Salama, 2000) :

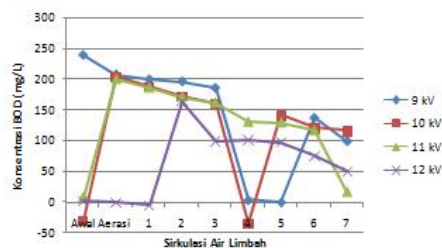


Radikal hidroksil yang memiliki potensial oksidasi lebih besar dibandingkan dengan ozon dapat mengoksidasi zat organik lebih cepat (10^7 - $10^9 \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$) dibandingkan ozon itu sendiri (10^1 - $10^7 \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$).

Hasil uji perubahan konsentrasi BOD dan warna dapat dilihat pada gambar 2.



(a)



(b)

Gambar 2. Grafik Penurunan Konsentrasi BOD dan Warna

konsentrasi warna tertinggi didapatkan pada tegangan 12 kV di sirkulasi ke-7 yakni sebesar 34%. Namun, pada penurunan parameter BOD, nilai penurunan konsentrasi terjadi secara acak atau tidak stabil seperti terlihat pada gambar 4.2 (b). Rendahnya akurasi dari metode pengujian BOD dibandingkan dengan COD merupakan salah satu faktor penyebab tidak stabilnya konsentrasi dari BOD itu sendiri dimana proses-proses mikrobiologis pada

analisa BOD kurang dapat diatur oleh manusia (Febrian, 2008).

c. Pengaruh Tegangan Terhadap Konsentrasi BOD dan Warna

Pada percobaan Penentuan pengaruh variasi tegangan terhadap konsentrasi BOD dan warna pada limbah industri minuman ringan ini, variasi tegangan yang diberikan adalah 9, 10, 11 dan 12 kV. 9 kV merupakan tegangan minimum dimana lucutan pada reaktor plasma mulai dihasilkan sedangkan 12 kV merupakan tegangan maksimum yang digunakan.

Hasil Percobaan pengaruh variasi tegangan terhadap konsentrasi BOD dan warna dapat dilihat pada Gambar 2 a dan 2b. Dari grafik tersebut menunjukkan bahwa penurunan dari konsentrasi BOD terjadi secara tidak stabil. BOD dapat didefinisikan sebagai banyaknya oksigen yang diperlukan oleh organisme pada saat pemecahan bahan organik pada kondisi aerobik. Pemeriksaan BOD dianggap sebagai suatu prosedur oksidasi dimana organisme hidup bertindak sebagai medium untuk menguraikan bahan organik menjadi CO_2 dan H_2O (Salmin, 2005). Pada plasma nilai BOD menjadi tidak dapat ditentukan dikarenakan adanya spesies aktif yang dapat mengganggu pertumbuhan dari mikroorganisme dalam menguraikan zat organik. Spesies aktif tersebut dapat merusak dinding sel dari bakteri sehingga dapat membunuh bakteri tersebut (Purwadi, 2008). Terhambatnya pertumbuhan bakteri akan mempengaruhi nilai dari BOD sehingga hasil uji dari BOD menjadi kurang teliti (Alaerts, 1984). Berbeda dengan konsentrasi BOD, konsentrasi warna pada air limbah menunjukkan adanya penurunan seiring dengan kenaikan tegangan.

Penurunan konsentrasi dapat disebabkan karena adanya proses oksidasi air limbah oleh spesies aktif yang dihasilkan dari proses ionisasi dalam reaktor plasma. Dengan menaikkan tegangan, elektron-elektron yang bergerak menuju anoda memiliki energi yang cukup untuk mengionisasi partikel yang ditumbuknya. Proses ionisasi yang terjadi dapat menyebabkan proses

*Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

**Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

penggandaan elektron (Nur,2011) semakin banyak elektron yang dihasilkan, maka pembentukan OH^\bullet , O^\bullet dan ozon akan semakin banyak pula. OH^\bullet , O^\bullet dan ozon akan mendekomposisi material organik di dalam air limbah dan menghasilkan Karbondioksida dan air sebagai produk akhirnya (Sato,2009).

Untuk mengetahui apakah tegangan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap penurunan konsentrasi BOD dan warna dapat dianalisa dengan melakukan uji statistik. Berdasarkan hasil uji statistik korelasi Bivariate dan regresi linier, didapatkan bahwa tegangan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap penurunan konsentrasi warna dalam air limbah.

d. Pengaruh Sirkulasi Terhadap Konsentrasi BOD dan warna

Sirkulasi air limbah dilakukan sebanyak 7 kali dimana konsentrasi BOD dan warna di analisa tiap sirkulasinya. Hasil uji pengaruh sirkulasi terhadap konsentrasi BOD dan warna dapat dilihat pada gambar 2 (a) dan 2 (b). Gambar 2 (a) menunjukkan bahwa konsentrasi BOD berfluktuasi tiap sirkulasinya. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa nilai pengukuran BOD memiliki nilai akurasi yang rendah dimana spesies aktif yang dihasilkan oleh plasma dapat membunuh bakteri pengurai zat organik. Namun pada penurunan konsentrasi warna pada gambar 2 (a), dapat dilihat bahwa konsentrasi warna menurun seiring dengan bertambahnya jumlah sirkulasi air limbah di dalam reaktor.

Fenomena penurunan konsentrasi warna dengan pengolahan menggunakan plasma dapat dijelaskan berdasarkan pH air limbah dan akumulasi elektron di dalam reaktor. Berdasarkan hasil pengujian pH, didapatkan bahwa pH mengalami peningkatan tiap sirkulasi. Hal ini terjadi karena reaksi antara ozon dengan molekul air yang menghasilkan OH^\bullet dimana ion OH^\bullet berkontribusi terhadap peningkatan pH di dalam air. Jumlah OH^\bullet akan mengalami akumulasi tiap sirkulasinya sehingga ketika pH berada di atas 8, ozon akan bereaksi menghasilkan radikal hidroksil yang dapat mengoksidasi zat organik di dalam air limbah dengan cepat.

Selain itu, dengan melakukan sirkulasi, maka hal ini berpengaruh pula terhadap peningkatan kontak limbah dengan elektron yang terbentuk dan memperbanyak kemungkinan terbentuknya ozon sehingga dihasilkan spesies aktif yang berperan dalam oksidasi zat organik dalam air limbah.

Untuk mengetahui pengaruh variasi sirkulasi terhadap konsentrasi warna dilakukan dengan menggunakan uji statistik. Uji statistik meliputi uji korelasi bivariate dan regresi linier. Hasil uji menunjukkan bahwa sirkulasi memberikan pengaruh yang signifikan terhadap penurunan konsentrasi warna di dalam air limbah.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan di dapatkan kesimpulan bahwa teknologi plasma memberikan pengaruh terhadap perubahan konsentrasi warna. Hasil analisa kuantitatif menggunakan SPSS 16 menunjukkan bahwa tegangan dan sirkulasi yang merupakan variabel bebas dalam penelitian ini memberikan pengaruh yang signifikan terhadap penurunan konsentrasi warna pada limbah cair industri minuman ringan. Pada penentuan konsentrasi BOD, penurunan konsentrasi tidak menunjukkan nilai yang stabil. untuk itu pada penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan parameter yang lebih stabil seperti COD.

DAFTAR PUSTAKA

- Alaerts,G. dan S.S Santika.1987. *Metoda Penelitian Air*. Usaha Nasional : Surabaya
- Febrian,M.2008.Pengembangan Sensor *Chemical Oxygen Demand* (COD) Berbasis Fotoelektrokatalisis:Evaluasi Respon Terhadap Beberapa Surfaktan.*Skripsi*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Departemen Kimia. Universitas Indonesia.Depok
- Nur,M.2011.*Fisika Plasma dan Aplikasinya*.Badan Penerbit Universitas Diponegoro:Semarang.
- Oktavia,I. 2013. Sistem Pengolahan Limbah Cair PT. Coca Cola Bottling Indonesia Central Java. *Laporan Kerja Praktek*.

*Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

**Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

- Program Studi Teknik Lingkungan.
Universitas Diponegoro.Semarang
- Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah
Nomor 5 Tahun 2012 *Perubahan Atas
Peraturan Daerah Provinsi Jawa
Tengah Nomor 10 Tahun 2004 Tentang
Baku Mutu Air Limbah*. Jakarta.
- Purwadi,A.2008. Pengaruh Ozon (O₃) Hasil
Lucutan Plasma dan Fotokatalis
Titanium Dioksida (TiO₂) Tipe Anatas
Terhadap Degradasi Fenol.
Garendra.XI(2008)
- Tuhu,A.R.,dan H.S Winata.2006.Pengolahan
Air Limbah Industri Tahu dengan
Menggunakan Teknologi Plasma. *Jurnal
Ilmiah Teknik Lingkungan* 2(2):19-28
- Salama,A. 2000. *Ozon Oxidation
Capabilities*. diakses dari
www.ozomax.com/pdf/capabilities.pdf
pada tanggal 11 September 2014.
- Sato,M. 2009. Degradation of Organic
Contaminants in Water By Plasma.
*International Journal of Plasma
Environmental Science and
Technology*.3(1)
- Warsito,A dkk.2009.Aplikasi Reaktor
Plasma Lucutan Korona Untuk
Menurunkan Kadar Limbah Cair Industri
Minuman Ringan. *Prosiding SENTIA.
Universitas Negeri Malang*. G1-G10

*Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

**Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro